

Verteiler

- Terra Elast

Fahrbahnbelag aus kunstharzgebundenem Naturstein

Messungen der Reifen-Fahrbahn-Geräusche

Bericht Nr. M60 586/1

Inhaltsverzeichnis

1	Situation und Aufgabenstellung	2
2	Messungen	3
2.1	Prüfverfahren	3
2.2	Messanhänger	3
2.3	Messreifen	4
2.4	Auswertemethode	5
2.5	Verwendete Prüfmittel	6
2.6	Zeitpunkt der Messungen	7
2.7	Witterung	7
2.8	Störgeräusche	7
2.9	Besonderheit	8
3	Messergebnisse	8
4	Kurzbewertung	8
5	Grundlagen	9

Dieser Bericht umfasst insgesamt 14 Seiten,
davon 9 Seiten Text und
5 Seiten Anhang

1 Situation und Aufgabenstellung

Der Auftraggeber hat Ende Mai 2007 auf dem firmeneigenen Gelände in Sauerlach eine etwa 30 m lange und 2,5 m breite Versuchsfläche mit einem offenporigen Fahrbahnbelag aus kunstharzgebundenem Natursteingemisch versehen. Das Größtkorn des Gesteinskörnungsgemisches beträgt 4 mm. In Abbildung 1 ist die Versuchsfläche im Foto dargestellt.



Abbildung 1. Versuchsfläche auf dem Firmengelände des Auftraggebers in Sauerlach.

Aufgabe war die quantitative, messtechnische Ermittlung der Reifen-Fahrbahn-Geräusche mit Hilfe der sogenannten CPX-Methode (Anhängermethode) bei unterschiedlichen Fahrgeschwindigkeiten und mit unterschiedlichen Reifen. Die Messergebnisse waren denen für andere, vergleichbare Fahrbahnbeläge gegenüber zu stellen.

Die Messungen wurden am Freitag, den 08. Juni 2007 etwa 2 Wochen nach Einbau der Versuchsfläche durchgeführt.

2 Messungen

2.1 Prüfverfahren

Mit der Nahfeldmessmethode (**C**lose **P**roximity **M**ethod – CPX) nach ISO 11819-2 [1] können die Reifen-Fahrbahn-Geräusche unbeeinflusst von speziellen Gegebenheiten der Messumgebung und unabhängig von Antriebs- und Strömungsgeräuschen an der Karosserie gemessen werden. In einem speziell ausgerüsteten Messanhänger werden dazu an vier definierten Positionen Mikrofone angebracht und der Schalldruckpegel der von vier verschiedenen genormten Messreifen erzeugten Rollgeräusche gemessen.

2.2 Messanhänger

Für die Messung muss ein der Norm entsprechender, speziell konstruierter Messanhänger zur Verfügung stehen, der hinter einem Zugfahrzeug nachgezogen wird. Der Messanhänger rollt auf zwei Reifen, die gleichzeitig zur Erzeugung der Reifen-Fahrbahn-Geräusche dienen. In kurzem Abstand zur Reifenaufstandsfläche sind jeweils vor und hinter dem Reifen Messmikrofone montiert, die der Schallaufzeichnung dienen. Die Räder laufen in akustisch getrennten Radkästen, so dass die beiden Rollspuren getrennt vermessen werden können.

Besondere Anforderungen werden an die Auskleidung der Innenflächen des Messanhängers gestellt. Sie sorgt dafür, dass in den Messkammern im wesentlichen Frequenzbereich quasi Freifeldbedingungen herrschen, die von den Mikrofonen registrierten Reifen-Fahrbahn-Geräusche also nicht durch Schallreflexionen an den Innenflächen gestört werden. Da die Messungen auch im fließenden Verkehr durchgeführt werden, erfüllt der Messanhänger auch besondere Anforderungen an die Schalldämmung im Inneren des Messanhängers gegenüber den Außengeräuschen, die durch im Gegenverkehr vorbeifahrende, durch folgende, vorausfahrende oder überholende Fahrzeuge hervorgerufen werden.

Der Müller-BBM/M+P Messanhänger erfüllt die Anforderungen nach Norm [1]. Sein Aufbau ist in den Abbildungen 2 bis 4 dargestellt.

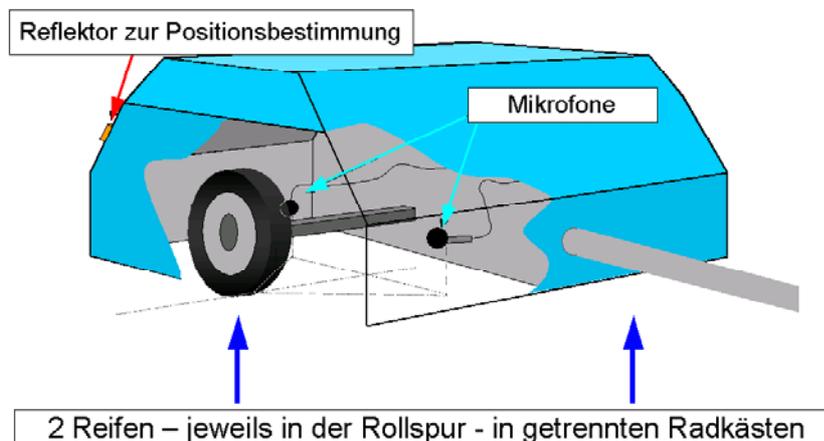


Abbildung 2. Schema der Messanordnung zur Durchführung von Messungen mit der Nahfeldmessmethode.



Abbildung 3. Müller-BBM/M+P Messanhänger



Abbildung 4. Reifen D mit Messmikrofonen (MP 4 und MP 1)

2.3 Messreifen

Für reproduzierbare Messungen mit Hilfe der Nahfeldmessmethode stehen von der Reifenindustrie vier Reifensätze zur Verfügung. Es handelt sich um zwei Sommer- und zwei Winterreifensätze.

Die Anhängermessungen werden in der Praxis pro Straßenabschnitt meist mit zwei der vier Reifensätze (Reifensätze A und D, „survey method“ gemäß ISO 11819-2) durchgeführt, wobei jeder Fahrstreifen einmal befahren wird. Die Messfahrten werden typischerweise bei der für den betreffenden Straßenabschnitt gültigen höchstzulässigen Geschwindigkeit durchgeführt, wenn möglich zusätzlich bei einer niedrigeren Geschwindigkeit.

Im vorliegenden Fall wurden jedoch alle vier Reifensätze für die Prüfungen nach der „investigatory method“ eingesetzt. Muster der vier Reifentypen sind in Abbildung 5 dargestellt.

- Reifen A: AVON ZV1
- Reifen B: AVON Enviro CR322
- Reifen C: AVON Turbogrip CR65
- Reifen D: Dunlop SP Arctic.



Abbildung 5. Muster der vier Messreifentypen. Foto: Ulf Sandberg, Schweden.

2.4 Auswertemethode

Pro Abschnitt der Versuchsfläche von jeweils 5 m Länge wurde der mittlere Schalldruckpegel L_p ermittelt. Die Messungen wurden bei den Nominalgeschwindigkeiten von 30 km/h und 50 km/h durchgeführt. Die Messergebnisse werden gemäß folgender Gleichung bezüglich den tatsächlich gefahrenen Geschwindigkeiten anhand der Größe c_v auf die Referenzgeschwindigkeiten korrigiert:

$$c_v = -b \cdot \lg \left(\frac{v}{v_{ref}} \right)$$

mit:

- c_v : Geschwindigkeitskorrektur in dB(A)
- b : Geschwindigkeitskoeffizient in dB(A)
- v : tatsächlich gefahrene Geschwindigkeit in km/h

v_{ref} : die Referenzgeschwindigkeit in km/h
hier: $v_{ref} = 50$ km/h.

Gemäß ISO Norm beträgt der Wert für den Geschwindigkeitskoeffizienten

$$b = 35.$$

Pro Reifen wird der mittlere A-bewertete Schalldruckpegel L_A (bzw. L_B , L_C , L_D) mit Angabe der Standardabweichung über den gesamten Straßenabschnitt und für jeden Fahrstreifen bestimmt.

Hinweis: Der Index A, B, C oder D in der Bezeichnung des Schalldruckpegels L steht hier für den Reifen, auf den sich die Pegelangabe bezieht. Der Index darf daher nicht mit der Frequenzbewertung verwechselt werden. Alle Schallpegel werden A-bewertet angegeben.

Auf die Ergebnisse der Nahfeldmessungen wird eine Temperaturkorrektur C_{temp} gemäß folgender Gleichung angewendet:

$$C_{temp} = 0,05 \cdot (T - 20^\circ\text{C})$$

mit:

C_{temp} : Temperaturkorrektur in dB(A)

T : Lufttemperatur in °C während der Messungen.

Anschließend werden daraus die Kennwerte für Pkw und Lkw CPX_{cars} bzw. CPX_{trucks} und einen Fahrzeugmix auf der Straße als Close-Proximity Sound Index $CPXI$ berechnet.

$$CPX_{cars} = 0,25 \cdot L_A + 0,25 \cdot L_B + 0,25 \cdot L_C + 0,25 \cdot L_D$$

$$CPX_{trucks} = L_D$$

$$CPXI = 0,20 \cdot L_A + 0,20 \cdot L_B + 0,20 \cdot L_C + 0,40 \cdot L_D$$

2.5 Verwendete Prüfmittel

In Tabelle 1 sind die für die Messungen verwendeten Prüfmittel eingetragen:

Tabelle 1. Verwendete Prüfmittel

Beschreibung	MP	Position	Typ	Hersteller	Serien- Nummer
4 Mikrofone, 1/2"	1	außen, vorne	MK250	Microtech Gefell	5227
	2	außen, hinten			5217
	3	innen, hinten			5207
	4	innen, vorne			5216
4 Vorverstärker	1	außen, vorne	MV210	Microtech Gefell	0359
	2	außen, hinten			0358
	3	innen, hinten			0356
	4	innen, vorne			0357
Kalibrator			4231	Brüel & Kjær	1821045
Datenerfassungssystem			PAK Mobil MKII	Müller-BBM VAS	
Lufttemperaturmessgerät			2236-1	Ahlborn	25191
Fahrbahntemperaturmessgerät (Laser)			Amir 7814-205	Ahlborn	254458- 0101-0005

Die verwendeten Prüfmittel unterliegen dem bei Müller-BBM eingeführten Qualitätsmanagement und werden regelmäßig mit Prüfnormalen verglichen. Die akustische Messgeräteketten wurde vor Beginn der Messungen mit dem Kalibrator kalibriert. Die Kalibrierung wurde in Messpausen und am Messende überprüft. Dabei ergaben sich keine Abweichungen.

Die Messgenauigkeit der Temperaturmessgeräte liegt bei $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Die Geschwindigkeit des Messfahrzeuges wurde vor den Messungen mit einer Radarpistole kontrolliert. Während der Messungen wurden die Geschwindigkeiten mit einem Tempomaten im Zugfahrzeug auf den vorher einjustierten Geschwindigkeitsniveau automatisch mit einer Schwankung von ca. ± 1 km/h gehalten.

2.6 Zeitpunkt der Messungen

Die Messfahrten wurden am Freitag, den 08.06.2005 zwischen 11:00 und 13:00 Uhr durchgeführt.

2.7 Witterung

Zum Zeitpunkt der Messungen war es im Bereich der Versuchsfläche windstill und niederschlagsfrei. Die Fahrbahn war seit zwei Tagen trocken. Es herrschten Temperaturen von 26°C .

2.8 Störgeräusche

Besondere Störgeräusche, beispielsweise durch besonders laute vorbeifahrende Lkw, verkehrende Flugzeuge etc. waren während der Messung nicht aufgetreten.

2.9 Besonderheit

Die Versuchsfläche wies zwei Besonderheiten auf, die die Aussagekraft der Messergebnisse einschränken. Zum einen war die Versuchsfläche mit 30 m verhältnismäßig kurz, so dass diese bei einer Fahrgeschwindigkeit von 50 km/h, das entspricht rund 14 m/s, in nur 2,2 s durchfahren wurde. Zum anderen wies die Versuchsfläche in der Mitte eine Verschwenkung in Fahrtrichtung auf, die aufgrund der geringen Breite der Versuchsfläche von nur 2,5 m eine kurze Kurvenfahrt mit dem Anhänger erforderte. Kurvenfahrten führen gegenüber der Geradeausfahrt zu einer Verfälschung der Messergebnisse, so dass die Messungen in zwei kurze Zeitintervalle vor und nach der Verschwenkung unterteilt und getrennt ausgewertet werden mussten.

3 Messergebnisse

Die Messungen wurden mit Nominalgeschwindigkeiten von 30 und 50 km/h durchgeführt. Pro Nominalgeschwindigkeit und pro Reifen wurden 2 Messfahrten vorgenommen. Bei 4 Reifen entspricht dies also 8 Messfahrten pro Nominalgeschwindigkeit. Im Anhang zu diesem Kurzbericht sind die Messergebnisse zusammenfassend dargestellt. Die in den Darstellungen auf den Seiten 2 und 4 enthaltenen Zeitverläufe der CPX-Indizes CPX_{cars} und CPX_{trucks} sind nur für die ersten 15 m vor der Verschwenkung der Fahrbahn wiedergegeben. Tabelle 2 enthält eine Übersicht über die aus den Messergebnissen abgeleiteten CPX-Indizes.

Tabelle 2. CPX-Indizes der Nahfeldmessungen auf der Versuchsfläche (mit Temperaturkorrektur), $v_{ref} = 50$ km/h.

	L_A	CPX_{cars}	CPX_{trucks}	$CPXI$
	[dB(A)]	[dB(A)]	[dB(A)]	[dB(A)]
Fahrgeschwindigkeit 30 km/h, Messwerte umgerechnet auf 50 km/h	81,9	82,7	86,2	83,4
Standardabweichung	0,6	1,9	0,7	1,4
Fahrgeschwindigkeit 50 km/h	83,5	83,9	86,2	84,4
Standardabweichung	1,4	0,9	0,8	0,9

4 Kurzbewertung

Der Nahfeldpegel der Reifen-Fahrbahn-Geräusche, ausgedrückt durch den für Pkw-Reifen typischen CPX-Index CPX_{cars} beträgt für die Versuchsfläche etwa 84 dB(A). Der für Lkw-Reifen typische Nahfeldpegel CPX_{trucks} beträgt rund 86 dB(A). Die leiseste derzeit verfügbare und im Praxiseinsatz bewährte Bauweise „Zweischichtiger Offenporiger Asphalt“ (ZWOPA) mit einem Größtkorndurchmesser von 8 mm in der oberen Schicht weist bei sorgfältiger Ausführung und im unverschmutzten Zustand, also ebenfalls im Neuzustand, für die beiden genannten Indizes typische Werte von

$CPX_{\text{cars}} = 87 \text{ dB(A)}$ und $CPX_{\text{trucks}} = 88 \text{ dB(A)}$ auf. Die Werte gehen zurück auf eine Vielzahl von Messergebnissen an ausgeführten ZWOPAs.

Dieses Ergebnis bedeutet, dass der offenporige Fahrbahnbelag aus kunstharzgebundenem Naturstein der Firma Terra Elast, so wie er auf der Versuchsfläche auf dem Firmengelände eingebaut wurde, bei 50 km/h einen um 3 dB niedrigeren Rollgeräuschpegel für den Pkw typischen Index CPX_{cars} und einen um 2 dB niedrigeren Rollgeräuschpegel für den Lkw typischen Index CPX_{trucks} bewirkt als die leiseste derzeit verfügbare Bauweise der Zweischichtigen Offenporigen Asphaltte.

Dieses Ergebnis hängt wesentlich zusammen mit der Tatsache, dass das Produkt der Firma Terra Elast ein Schallabsorptionsverhalten aufweist, das mit dem offenporiger Asphaltte vergleichbar ist. Gleichzeitig weist die Oberfläche durch Verwendung eines – gegenüber offenporigen Asphaltten - deutlich kleineren Größtkorndurchmessers in der Deckschicht auch eine deutlich feinere Textur auf. Die feinere Textur gepaart mit dem sehr guten Schallabsorptionsvermögen bewirkt insgesamt die gegenüber Zweischichtigen Offenporigen Asphaltten bessere akustische performance.

Die Standardabweichungen der vorliegenden Messergebnisse mit teilweise mehr als 1 dB und die Tatsache, dass nur sehr kurze Abschnitte von weniger als 15 m Länge befahren und ausgewertet werden konnten, lassen nur vorläufige Aussagen über das akustische Verhalten des Produktes der Firma Terra Elast zu. Die Ergebnisse dieser Untersuchung gelten deshalb vorbehaltlich der Ergebnisse weiterer akustischer Untersuchungen, die insbesondere auch Vorbeifahrtmessungen einzelner Fahrzeuge im fließenden Verkehr auf einer mit dem Produkt der Firma Terra Elast ausgeführten Deckschicht ausreichender Länge vorsehen.



Dr.-Ing. Thomas Beckenbauer

5 Grundlagen

- [1] ISO CD 11 819-2: Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 2: The close-proximity method. Entwurf, Arbeitsvorlage vom 13.12.2000
- [2] Messungen nach ISO CD 11819-2 auf der Versuchsfläche der Firma Terra Elast in Sauerlach am 08. Juni 2007.

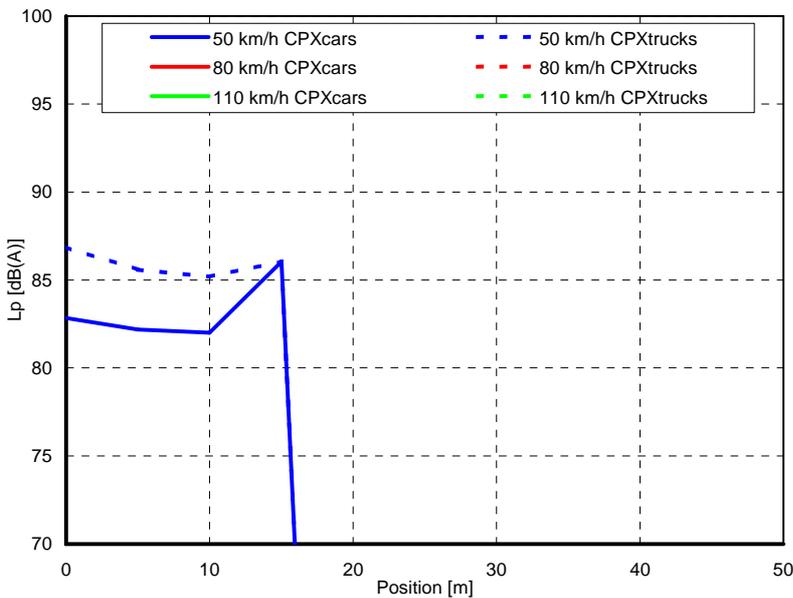
Anhang
Messergebnisse

Close Proximity (CPX) - (investigatory Methode)

(innere Mikrofonpositionen)

Ort	Firmengelände Terra Elast	Datum	08.06.2007
Fahrbahnbelag	Epoxidharzgebunden	Temperatur Luft [°C]	26°C
Länge des Straßenabschnitts	30 m	Temperatur Fahrbahn [°C]	40°C
Richtung	Ost mit 30km/h		
Auftraggeber / Bestell-Nr.	Terra Elast AG, Sauerlach		

CPX-WERTE

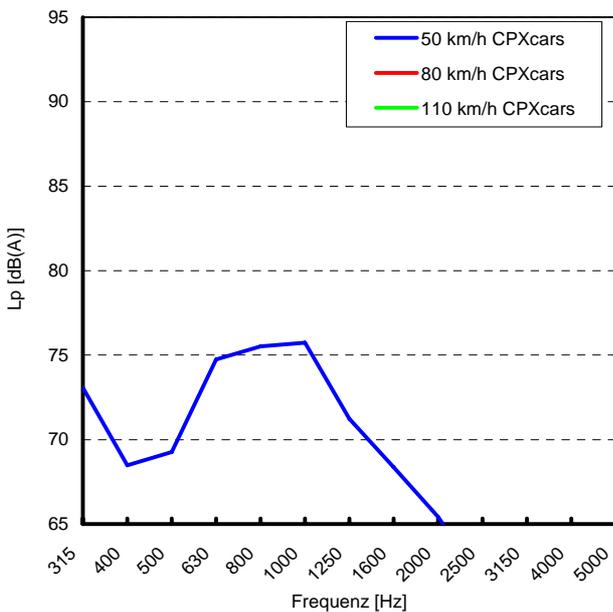


- Reifen A Avon ZV1
- Reifen B Avon Enviro CR322
- Reifen C Avon Turbogrip CR65
- Reifen D Dunlop SP Artic

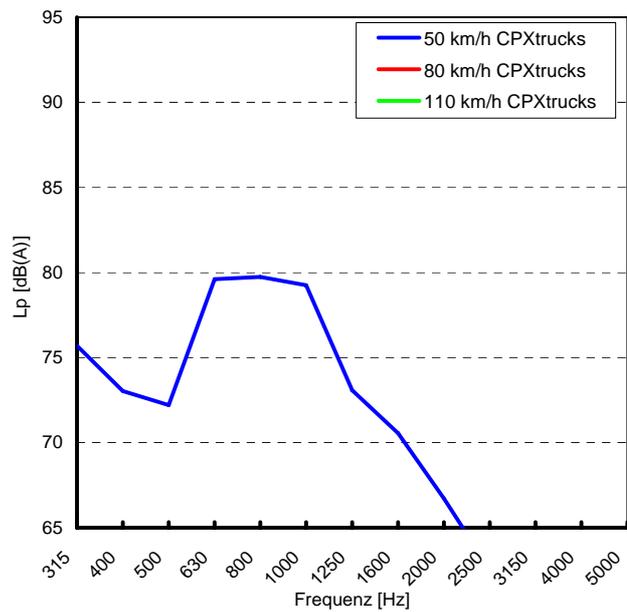
v [km/h]	50	80	110
CPX _{cars} [dB(A)]	82,4		
Standardabw.	1,9		
CPX _{trucks} [dB(A)]	85,9		
Standardabw.	0,7		
CPXI [dB(A)]	83,1		
Standardabw.	1,4		

FREQUENZ-ANALYSE

Terzspektrum für CPX_{cars}



Terzspektrum für CPX_{trucks}



ISO/CD 11819-2

Acoustics-Method for measuring the influence of road surfaces on traffic noise- Part 2: The close-proximity method

Messungen durchgeführt von	Dipl.-Ing B. Altreuther / Dipl.-Ing. (FH) M. Männel		
Messungen ausgewertet von	Dipl.-Ing. (FH) M. Männel / Thorsten Otto		
	Müller-BBM GmbH, Robert-Koch-Straße 11, D-82152 Planegg		
Ort	Firmengelände Terra Elast	Datum	08.06.2007
Fahrbahnbelag	Epoxidharzgebunden	Temperatur Luft [°C]	26°C
Länge des Straßenabschnitts	30 m	Temperatur Fahrbahn [°C]	40°C
Richtung	Ost mit 30km/h		
Datenanalyse:	CPX-uitwerken.xlt [Version 2.00]		
Auftraggeber / Bestell-Nr.	Terra Elast AG, Sauerlach		

MESSGERÄTE

Anhängertyp	M+P/Müller-BBM 2-Rad-Anhänger mit Pkw-Zugfahrzeug
Kalibrierung	Bericht M+P.XTRAIL01.2 01., Juni 2001
Messsystem	Müller-BBM-VAS PAK mobil, 8 Kanäle
Mikrofone	siehe Textteil Bericht



Vorverstärker	siehe Textteil Bericht
----------------------	------------------------

Mikrofonspeisung	siehe Textteil Bericht
Kalibrator	siehe Textteil Bericht

- Reifen A : Avon ZV1
- Reifen B : Avon Enviro CR322
- Reifen C : Avon Turbogrip CR65
- Reifen D : Dunlop SP Artic

ERGEBNISDARSTELLUNG

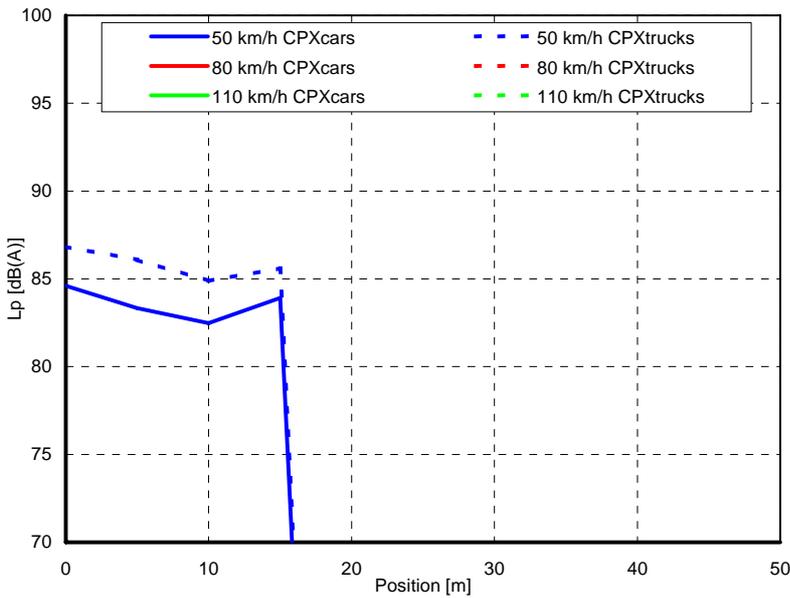
		Reifen A	Reifen B	Reifen C	Reifen D	v_{ref} [km/h]
Geschwindigkeit	km/h	31,1	31,9	31,4	32,8	50 km/h
Standardabweichung	km/h	0,2	0,2	0,2	0,3	
mittlerer Schalldruckpegel	dB(A)	81,6	80,4	81,5	85,9	
Standardabweichung	dB(A)	0,6	0,3	1,2	0,7	
Anzahl Messfahrten	1	2	2	2	2	
Geschwindigkeit	km/h					80 km/h
Standardabweichung	km/h					
mittlerer Schalldruckpegel	dB(A)					
Standardabweichung	dB(A)					
Anzahl Messfahrten	1	0	0	0	0	
Geschwindigkeit	km/h					110 km/h
Standardabweichung	km/h					
mittlerer Schalldruckpegel	dB(A)					
Standardabweichung	dB(A)					
Anzahl Messfahrten	1	0	0	0	0	
Geschw.konstante B		35				
Segmentlänge		5 m				
Mittlung		Energetisch				
Temperaturkorrektur		0,0 dB(A)		(nicht angewendet)		

Close Proximity (CPX) - (investigatory Methode)

(innere Mikrofonpositionen)

Ort	Firmengelände Terra Elast AG,	Datum	08.06.2007
Fahrbahnbelag	Epoxidharzgebunden	Temperatur Luft [°C]	26°C
Länge des Straßenabschnitts	30 m	Temperatur Fahrbahn [°C]	40°C
Richtung	Ost mit 50km/h		
Auftraggeber / Bestell-Nr.	Terra Elast AG		

CPX-WERTE

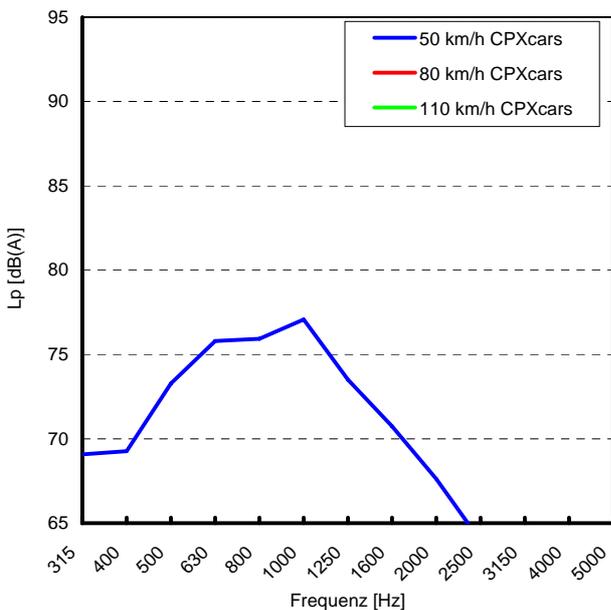


Reifen A Avon ZV1
 Reifen B Avon Enviro CR322
 Reifen C Avon Turbogrip CR65
 Reifen D Dunlop SP Artic

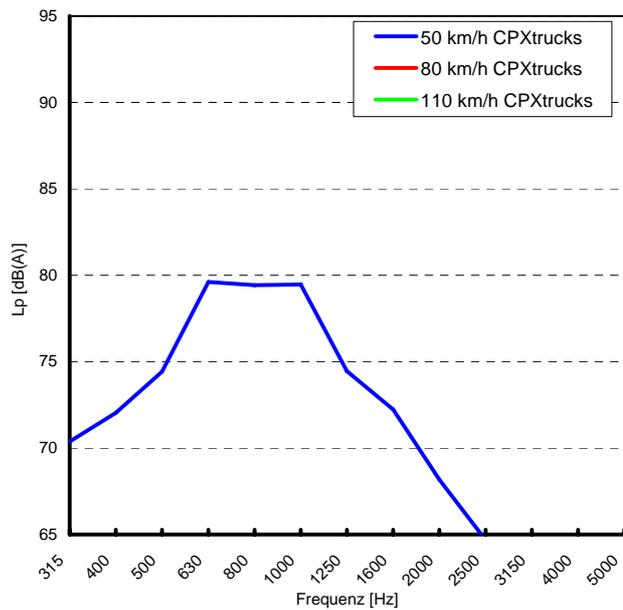
v [km/h]	50	80	110
CPX _{cars} [dB(A)]	83,6		
stand. dev	0,9		
CPX _{trucks} [dB(A)]	85,9		
stand. dev	0,8		
CPXI [dB(A)]	84,1		
stand. dev	0,9		

FREQUENZ-ANALYSE

Terzspektrum für CPX_{cars}



Terzspektrum für CPX_{trucks}



ISO/CD 11819-2

Acoustics-Method for measuring the influence of road surfaces on traffic noise- Part 2: The close-proximity method

Messungen durchgeführt von	Dipl.-Ing B. Altreuther / Dipl.-Ing. (FH) M. Männel		
Messungen ausgewertet von	Dipl.-Ing. (FH) M. Männel / Thorsten Otto		
	Müller-BBM GmbH, Robert-Koch-Straße 11, D-82152 Planegg		
Ort	Firmengelände Terra Elast AG, Saal	Datum	08.06.2007
Fahrbahnbelag	Epoxidharzgebunden	Temperatur Luft [°C]	26°C
Länge des Straßenabschnitts	30 m	Temperatur Fahrbahn [°C]	40°C
Richtung	Ost mit 50km/h		
Datenanalyse:	CPX-uitwerken.xlt [Version 2.00]		
Auftraggeber / Bestell-Nr.	Terra Elast AG		

MESSGERÄTE

Anhängertyp	M+P/Müller-BBM 2-Rad-Anhänger mit Pkw-Zugfahrzeug
Kalibrierung	Bericht M+P.XTRAIL01.2 01., Juni 2001
Messsystem	Müller-BBM-VAS PAK mobil, 8 Kanäle
Mikrofone	siehe Textteil Bericht



Vorverstärker	siehe Textteil Bericht
----------------------	------------------------

Mikrofonspeisung	siehe Textteil Bericht
Kalibrator	siehe Textteil Bericht

Reifen A	: Avon ZV1
Reifen B	: Avon Enviro CR322
Reifen C	: Avon Turbogrip CR65
Reifen D	: Dunlop SP Artic

ERGEBNISDARSTELLUNG

		Reifen A	Reifen B	Reifen C	Reifen D	v_{ref} [km/h]
Geschwindigkeit	km/h	49,7	50,2	52,6	51,5	50 km/h
Standardabweichung	km/h	0,3	0,4	0,4	0,3	
mittlerer Schalldruckpegel	dB(A)	83,2	82,0	83,4	85,9	
Standardabweichung	dB(A)	1,4	1,1	1,2	0,9	
Anzahl Messfahrten	1	2	2	2	2	
Geschwindigkeit	km/h					80 km/h
Standardabweichung	km/h					
mittlerer Schalldruckpegel	dB(A)					
Standardabweichung	dB(A)					
Anzahl Messfahrten	1	0	0	0	0	
Geschwindigkeit	km/h					110 km/h
Standardabweichung	km/h					
mittlerer Schalldruckpegel	dB(A)					
Standardabweichung	dB(A)					
Anzahl Messfahrten	1	0	0	0	0	
Geschw.konstante B		35				
Segmentlänge		5 m				
Mittelung		Energetisch				
Temperaturkorrektur		0,0 dB(A)		(nicht angewendet)		